

Ville Mäkelä

Tilastollisen prosessinohjauksen soveltaminen koneistotehtaalla

Opinnäytetyö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööritutkinto

Tuotantotalous

Opinnäytetyö

3.12.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Mäkelä Tilastollisen prosessinohjauksen soveltaminen koneistotehtaalla 27 sivua + 6 liitettä 3.12.2014
Tutkinto	Insinööri
Koulutusohjelma	Tuotantotalous
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja	yliopettaja Hannu Räsänen
<p>Insinööriyöni aiheena oli kehittää ja käyttöönottaa tilastollisen prosessinohjauksen (Statistical Process Control, SPC) mittarisovellus KONE Oyj:n Hyvinkään hissikonetehtaalle. Tavoitteena oli, että laadunohjauksen mittari näyttää tietoa tehtaan linjojen saantoasteista (First Pass Yield, FPY) sekä kuvaa hissien moottorien tarkastamisen yleistä tilaa. Tavoitteena oli toteuttaa mittatiedonhaku automaattiseksi sekä käyttöliittymä mahdollisimman selkeäksi, jotta mittarisovellus olisi mahdollisimman helppo käyttää sekä luotettava.</p> <p>Tilastollisen prosessinohjauksen mittarisovellus tehtiin analysoimaan hissien moottorien testausasemien automaattisesti tallennettavaa mittatietoa. Mittarisovellus luotiin alun perin vain yhdelle tehtaan hissimoottorien testausasemalle, mutta laajennettiin kattamaan viisi kuudesta tehtaan testausasemasta. Laajennus kyettiin tekemään Labview-tiimin avustuksella tietokantamuutoksen seurauksena. Insinööriyössä on esitelty eri kaavioita, kuvia sekä ideoita, joita yhdessä esimieheni kanssa sovittiin käytettäväksi mittarisovelluksessa. Mittarisovellus rajattiin analysoimaan vain moottorien testausasemien mittatietoa. Mittarisovellus ei toistaiseksi analysoi sähkö- tai koripuolen mittatietoa.</p> <p>Tilastollisen prosessinohjauksen mittarisovellusta analysoitiin jatkuvasti kehittämisen ohella, jotta osasimme valita mahdollisimman parhaat tavat visualisoida tietoa käyttäjälle sekä ennaltaehkäistä virheitä. Opinnäytetyön ohella laadin ohjeistusta niin sovelluksen käyttämiselle, kuin sitä ympäröivälle tietokonesovelluksille. Mittarisovellusta kehitettiin yhteensä lähes puoli vuotta kesästä 2014 joulukuulle asti.</p> <p>Mittarisovellusta käytti moni työntekijä jo kehitysvaiheessa. Kehitysvaiheen testaamisen seurauksena saimme esimieheni kanssa luotua mittarisovelluksesta mahdollisimman hyvin soveltuva sitä käyttäville työntekijöille. Mittarisovelluksen laskentatarkkuutta testattiin useasti syksyllä 2014 ja sen laskemiin arvoihin luotetaan. Laatutyökalu koettiin toimivaksi, luotettavaksi sekä selkeäksi ja otettiin käyttöön Hyvinkään hissikonetehtaalla syksyllä 2014. Mittarisovellusta tullaan todennäköisesti käyttämään muissakin SPC-analyyseissä vaa-</p>	
Avainsanat	SPC, tilastollinen prosessinohjaus, mittaus, sovellus

Author Title Number of Pages Date	Ville Mäkelä Statistical process control metrics application in a machinery factory 27 pages + 6 appendices 3.12.2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial management
Specialisation option	
Instructor	Senior lecturer Hannu Räsänen
<p>The subject of my thesis was to develop and implement a statistical process control (SPC) metrics application for KONE Corporation elevator machine factory in Hyvinkää unit. The goal was to create a quality management metrics application to display information of factory's yield and overall checking status of elevator engines. The goal was also to automate retrieving of the measurement data and to create simplistic user interface for the application so that the metrics application would be easy to use and reliable.</p> <p>The statistical process control metrics application was made to analyze the elevators engine test stations automatically recorded measurement data. The application was first made for only one testing station, but was expanded for five of the six of factory's testing stations. The extension was possible after the Labview team made changes to the measurement database. Charts, graphics and theories used in the metrics application were chosen by my manager. The metrics application is limited to analyze only motor testing measurement data. It will not analyze information of electrical measurements or frames of elevator at the moment.</p> <p>The statistical process control metrics application was analyzed continuously while it was being developed, so that we could choose as the best ways to visualize information for the user and to prevent errors. While working with the metrics application I also created instructions for the application and the measurement database. The application was developed almost six months from summer 2014 until December.</p> <p>The statistical process control metrics application was used by few office workers already in the development phase. The development phase testing was performed so that the application changes would support users efficiently. Application calculation accuracy was tested many times during autumn 2014 so that the values and graphics could be trusted. The statistical process control metrics application was seen as a functional, reliable and clear and was introduced to Hyvinkää's elevator machine factory in the autumn of 2014. The metrics application is expected to be used in other SPC analysis demanding processes.</p>	
Keywords	SPC, Statistical Process Control, measurement, application

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yrityksen esittely	2
3	Tilastollinen prosessinohjaus	3
4	Prosessi	8
5	Valvontakortit	12
5.1	Kortin käyttö	12
5.2	Kortin valinta	13
5.3	Valittujen korttien esittely	14
	I-MR -valvontakortti	14
6	SPC:n soveltaminen koneistotehtaalla	21
7	Pohdinta ja johtopäätökset	22
8	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1: P Control Chart

Liite 2: Mittarisovelluksen käyttöliittymä

Liite 3: Muutama valvontakortti

Liite 4: Pareto Chart

Liite 5: Error Categories

Liite 6: Product-specific errors

1 Johdanto

Opiskeluni aikana olen työskennellyt kesäisin prosessin kehittämisen sekä laadunohjauksen parissa. Insinööriyönantoni alkoi KONE Oyj:n Hyvinkään hissikonetehtaalla kesätyön jälkeen. Huomasimme yhdessä esimieheni kanssa mahdollisuuden kehittää ja käyttöönottaa tilastollisen prosessinohjauksen (Statistical Process Control, SPC) mittari. Mittarin ideana on tuottaa SPC:n lisäksi tietoa tehtaan linjojen saantoasteista (First Pass Yield, FPY) sekä moottorien tarkastamisen yleistilanteesta (kuva 10; liite 1.).

Tilastollisen prosessinohjauksen avulla laatu ja tuottavuus nousevat, kun hajonta prosessissa pienenee. Mittarisovelluksen ideana on systemaattisesti ja jatkuvasti seurata moottorien tarkastuksen mittatietoa. Valvonnan lisäksi mittarisovellusta analysoimalla on tarkoitus lisätä tietoisuutta toiminnan luonteesta. Esimieheni kanssa yhteistyössä valittiin tarkasteltavat oikeat prosessit, osaprosessit sekä mittausmenetelmät.

Mittaustieto, jota käytän automaattisessa mittarissani, on peräisin hissikoneistotehtaan useilta testereiltä, jotka tuottavat runsaasti tilastolliseen analyysiin soveltuvaa mittaus-tietoa. Insinööriyön tavoitteena on kehittää järjestelmä, jolla KONEen hissikoneistotehtaan tuotantolinjalta kerätty mittaustieto saadaan reaaliaikaisesti linjaoperaattorien käyttöön tuotannon laadun varmistamiseksi. SPC:n avulla voidaan havaita ripeästi muutokset prosessissa sekä pystytään suorittamaan nopeat korjaustoimenpiteet.

Työ rajattiin siten, että mittaristo analysoi vain yhden valmistuslinjan testereiden mittaustietoa. Helpon ja melko vaivattoman muutoksen avulla kehitetyllä mittarilla kyetään käsittelemään jatkossa monia valmistuslinjoja.

2 Yrityksen esittely

KONE kuuluu alansa johtaviin yrityksiin ja tarjoaa asiakkailleen edistyksellisiä hissejä, liukuportaita ja automaattiovia sekä monipuolisia ratkaisuja niiden huoltoon ja modernisointiin. Eri asiakasryhmien tarpeiden ymmärtäminen on ohjannut yrityksen toimintaa jo sadan vuoden ajan. KONEen tavoitteena on tarjota paras käyttäjäkokemus kehittämällä ja toimittamalla ratkaisuja, jotka mahdollistavat ihmisten liikkumisen rakennuksissa sujuvasti, turvallisesti, mukavasti ja viivytyksettä yhä enemmän kaupungistuvassa ympäristössä. Vuonna 2013 KONEen liikevaihto oli 6,9 miljardia euroa ja henkilöstömäärä vuoden lopussa yli 43 000. Yhtiön B-sarjan osake noteerataan NASDAQ OMX Helsinki Oy:ssä. (1.)

Asiakkaat

Rakennusurakoitsijat, rakennusten omistajat, kiinteistönhallintayhtiöt ja kiinteistöjen kehittämiseen keskittyvät toimijat ovat KONEen keskeisiä asiakasryhmiä. Lisäksi arkkitehdit, viranomaiset ja konsultit ovat tärkeitä vaikuttajia ja päätöksentekijöitä hissien ja liukuportaiden ostoprosessissa.

Markkinat on segmentoitu kiinteistön käyttötarkoituksen mukaan. Pääsegmentit ovat asuintalot, hotellit, toimisto- ja liikekiinteistöt, infrastruktuuri ja sairaalat. Myös erikoiskohteita, kuten vapaa-ajan keskuksia, koulutuskeskuksia, teollisuuskiinteistöjä ja laivoja, palvellaan.

KONEella on maailmanlaajuisesti satojatuhansia asiakkaita, joista suurin osa on kunnossapidon asiakkaita. Kunnossapidon asiakkaisiin kuuluu niin yhden rakennuksen kattavia sopimuksia tekeviä kiinteistönhallintayhtiöitä kuin suuria kansainvälisiä liike- ja hotelliketjuja. (1.)

KONE maailmalla

KONE toimii yli 1 000 toimipisteen kautta noin 50 maassa eri puolilla maailmaa. KONEella on seitsemän tuotantoaluetta, jotka sijaitsevat kaikilla päämarkkinoilla, ja kahdeksan globaalia tutkimus- ja tuotekehityskeskusta. Lisäksi valtuutettuja jakelijoita on yli 60 maassa. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä. (1.)

3 Tilastollinen prosessinohjaus

SPC eli Statistical Process Control tarkoittaa suomeksi tilastollista prosessin ohjausta (vanha termi tilastollinen valvonta). SPC:n alullepanija Walter A. Shewhart loi universaalien teorian, joka selittää kaikissa palvelu- ja teollisuusprosesseissa olevan vaihtelun. Vaihtelu jakautuu satunnaissyiden aikaansaamaan vaihteluun (common causes) ja erityissyiden aikaansaamaan vaihteluun (special cause, sporadic cause). Usein puhutaan myös käsitteistä kohina (noise), kun tarkoitetaan satunnaissyyperäistä vaihtelua ja sigmaali, kun tarkoitetaan erityissyyperäistä vaihtelua. Lisäksi hän loi teorian (säännöt), kuinka vaihtelu jaetaan näihin kahteen komponenttiin. Menettelyä ja työkalua sanotaan ohjauskortiksi (vanha nimi valvontakortti).

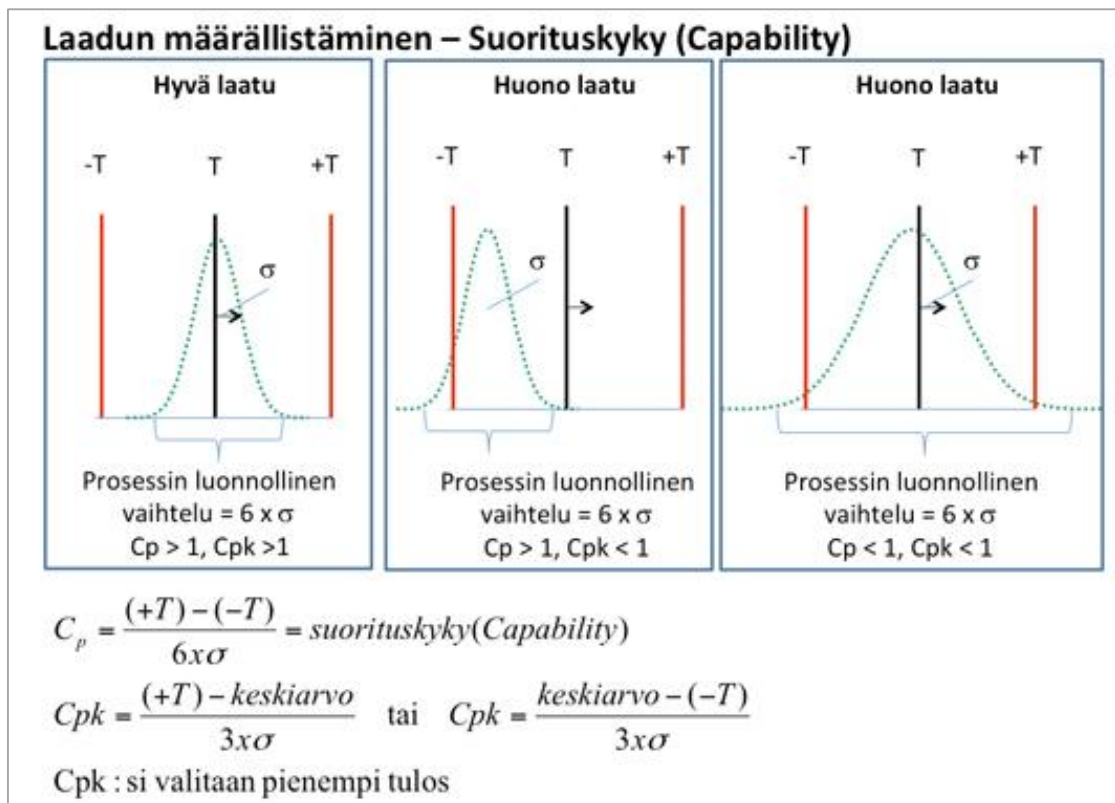
SPC sisältää kaksi päätehtävää, johon sitä käytetään laadun ohjauksessa: kertomaan milloin prosessia tulee säätää tai korjata, jotta se säilyttää ennustettavuutensa sekä analysoimaan ja parantamaan prosessia. Ohjauskortit ovat menetelmä, jolla tunnistetaan nämä vaihtelun lajit prosesseista. Ohjauskortit auttavat määrittämään, onko prosessi ennustettava, eli tilastollisessa ohjauksessa. Seuraavassa kappaleessa esitellään SPC:hen liittyviä keskeisiä käsitteitä. (2.)

Suorituskykylukuku

Cp ja Cpk ovat kaksi keskeistä tilastollisen laadunvalvonnan suorituskykylukua. Cp on Process Capability eli yksinkertainen indikaattori prosessin valmiudesta ja Cpk on Process Capability Index, joka kuvaa, kuinka keskitetysti arvot hajautuvat rajojen sisällä.

Cpk kuvaa sitä, kuinka lähellä prosessi on rajojaan suhteessa sen luonnolliseen hajontaan nähden. Mitä suuremman arvon Cpk saa, sitä todennäköisemmin prosessi ei tule ylittämään raja-arvojaan. Cp:n ja Cpk:n voi selittää hyvin metsästysaiheisen kuvauksen kautta, Jos ammutaan maalitaulua aseella ja reiät ovat lähekkäin, Cp on hyvä. Jos tämä reikiä läjä on lähellä taulun keskipistettä, niin myös Cpk on hyvä. Cp kuvaa siis hajaantumista, kun taas Cpk kuvaa hajaantumisen keskittymistä raja-arvoihin nähden. Raja-arvoja voivat olla esimerkiksi tarkkuusammunnassa taulun laidat ja teollisuudessa prosessille sovitut toleranssit/ raja-arvot, joita ei saa ylittää laadun takaamiseksi asiakkaalle. (3.)

Kuvassa 1 on esitelty C_p :n sekä C_{pk} :n ilmentymää käytännössä normaalikäyrän avulla. Normaalikäyrä kuvaa hajontaa.



Kuva 1. C_p ja C_{pk} tunnusluvut (4.)

Toleranssirajat

Tuotteita ja palveluja tuotettaessa on niille etukäteen asetetut enemmän tai vähemmän "määritellyt" laadulliset rajat (suoritusarvot), joiden sisällä tai ylä- tai alapuolella asiakas haluaa niiden olevan. Rajoja kutsutaan toleransseiksi eli spekseiksi. Kaikkihan tuntevat nolla-toleranssi käsitteen. Jos poiketaan näistä rajoista, on kyseessä tuote- tai palveluvirhe ja ääritapauksessa vika, josta saattaa seurata reklamaatio. (5.)

Kontrollirajat

Toleranssirajojen lisäksi on olemassa kontrollirajat. Rajoja kutsutaan UCL:ksi (Upper Control Limit) sekä LCL:ksi (Lower Control Limit). Nämä rajat eivät ole usein absoluuttisia, kuten toleranssirajat saattavat olla, vaan ne enemmänkin kuvaavat keskihajonnan kautta yksittäisiä poikkeamia prosessin mittauksissa.

Arvot voidaan laskea seuraavasti:

$$UCL = \text{keskiarvo} + (3 * \text{keskihajonta})$$

$$LCL = \text{keskiarvo} - (3 * \text{keskihajonta})$$

Keskiarvo

Lukujoukon aritmeettinen keskiarvo (lyhenne ka.) on joukon jäsenten summa jaettuna sen jäsenten lukumäärällä. Puhuttaessa keskiarvosta tarkoitetaan yleensä juuri aritmeettista keskiarvoa. (6.)

Keskiarvon kaava on seuraavanlainen:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(x_1 + \dots + x_n)}{n}$$

n on havaintojen lukumäärä

Keskihajonta

Vaihteluväli, eli suurimman ja pienimmän arvon erotus, määräytyi ainoastaan suurimman ja pienimmän havaintoarvon mukaan. Täten yksikin muista suuresti poikkeava havaintoarvo aiheuttaa suuren vaihteluvälin. Keskihajonta on tunnusluku, joka huomioi aineiston kaikkien havaintoarvojen keskinäisen sijainnin.

Keskihajonta on luku, joka kuvaa havaintoarvojen ryhmittymistä keskiarvonsa ympärille. Mitä lähemmäs keskiarvoa ja siis myös toisiaan havaintoarvot ovat ryhmittyneet, sitä pienempi on keskihajonta. Hajallaan sijaitsevien eli keskenään kovin eri suurien lukujen keskihajonta on iso. (7.)

Keskihajonnan laskukaavana on seuraavanlainen:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

jossa \bar{x} on keskiarvo ja n on havaintoarvojen lukumäärä. Keskihajontaa merkitään kirjaimella s .

Perusjoukko, alkio

Perusjoukko on joukko, jota tutkitaan. Se voi olla vaikka tehtaan valmistuksessa viimeisen sadan moottorin kitkakerroin tai tuotannossa syntyneet koneenosat. (8.)

Otos

Jos ei ole mahdollista tai kannattavaa tutkia koko perusjoukkoa, niin voidaan tutkia perusjoukon osajoukko. Jos tutkittavaa osajoukkoa voidaan perustellusti pitää edustavana, perusjoukkona pienoisjoukossa, niin sitä kutsutaan otokseksi.

Sopivalla otantamenetelmällä pyritään varmistamaan otoksen edustavuus. Parhaiten edustava otos saadaan satunnaisuutta apuna käyttäen (arvonta). Edustavan otoksen avulla on mahdollista tehdä perusjoukkoa koskevia päätelmiä. (8.)

Näyte, näyte-erä

Jos poimitaan tutkimukseen ne perusjoukon alkio, jotka ovat 'saatavilla', kyseessä on näyte eikä otos. Näytteen valitsija tai näytteen kohteet voivat toimia puolueellisesti, koska näytettä ei valita arpomalla.

Katukysely on hyvä esimerkki näytteenotosta. Kadulla liikkujat eivät välttämättä kovin hyvin edusta tutkittavaa perusjoukkoa, ellei perusjoukkona ole kyseisellä kadulla kyseeseen aikaan liikkuvat.

Jos TV:n ajankohtaisohjelma pyytää katsojia sähköpostittamaan mielipiteensä ajankoh-
taisesta asiasta, kyseessä on itse valikoituva näyte. Osallistujat siis itse valitsevat it-
sensä. Ei varmaankaan ole perusteltua pitää tällaista osajoukkoa edustavana otokse-
na.

Kyselytutkimuksissa näytteen perusteella ei pidä tehdä perusjoukkoa koskevia tilastol-
lisesti edustavia päätelmiä. (8.)

Tavoitearvo

Tavoitearvo (Target Value) voi olla mittaamisessa manuaalisesti kuvaajiin lisätty arvo,
johon pyritään esimerkiksi seuraavaan vuoteen mennessä tai jatkuvasti. Tavoitearvo
voi olla vaikkapa jonkun tuotannon testin 90 %:n läpäisyarvo tai vaikkapa asiakastyyty-
väisyydessä 90 % tyytyväisiä asiakkaita. Arvo voidaan keksiä motivoimaan esimerkiksi
työntekijöitä tai johtoa. Arvon saavutettua voidaan antaa palkinto mainiosta suoriutu-
misesta. (9.)

4 Prosessi

Prosessi tarkoittaa edistymistä sarjassa suoritettavia toimenpiteitä, jotka tarvitaan tietyn halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Prosessin toteuttaminen saattaa vaatia resursseja, kuten aikaa, rahaa, tilaa, osaamista sekä asiantuntemusta. Prosessi yleisesti suunnitellaan toistuvaksi jonkin suunnitellun mallin mukaisesti toimimaan. Prosessin kyvykkyyttä voi seurata tutkimalla prosessin todellista käyttäytymistä suhteessa suunnitelmiin. Tämän lisäksi prosessin välivaiheita sekä lopputulosta voi ja kannattaa mitata laadun, tehokkuuden sekä tuottavuuden nimissä. Tehoton tai kyvytön prosessi tuottaa hävikkiä ja kuluttaa resursseja. (10.)

Esimerkkejä erilaisista prosesseista ovat oikeus-, kehittämis-, koulutus-, tuotekehitys-, valmistus-, palvelu- ja vikaselvitysprosessi. (11.)

Vaihtelu ja hajonta

Prosessin mittausarvojen jakaumaa voidaan tutkia histogrammin avulla (liite 3.). Jakauman tutkiminen vaatii useita tuloksia, jotta luotettava johtopäätös voidaan tehdä. Muutaman yksittäisen tuloksen perusteella ei kannata tehdä laajempia analyysyjä. Mitä enemmän tuloksia, sitä paremmin histogrammin muoto tulee esiin. Histogrammista saa hyvin selville prosessin vaihteluun liittyviä ominaispiirteitä, kuten keskihajonnan ja normaalijakauman, eli jatkuvan todennäköisyysjakauman. Kuvaajan luonne kertoo yleisesti, kuinka prosessitoimivuus vastaa tavoitteita (C_p , C_{pk} selitetty aiemmin).

First Pass Yield






First Pass Yield (FPY) on tärkeä valmistamisen mittari. Sen karkea suomennos voisi olla ensikierron tuotto. FPY määrittelee laatua, prosessin suorituskkyä, tehokkuutta sekä kuvaa hävikin osuutta. Se ei kuitenkaan mittaritietona tuota tietoa seisokkiajasta, tuotannon aikatauluksesta tai kapasiteetista. FPY kuvaa hyvin reworkia eli työtä, joka joudutaan tekemään useammin kuin kerran, esimerkiksi prosessin virheen tai heikon laadun takia. Ylimääräinen työ voi aiheuttaa merkittävän kustannuksen tuottamisessa ajallisesti sekä rahallisesti. Myös Pareto-kaaviolla voi tutkia ylimääräistä työtä (liite 4.).

Epäonnistumisen hinta tulee toki laskea prosessikohtaisesti. FPY antaa suuntaa ylimääräisestä uudelleen tehtävästä työstä, muttei suoranaisesti kykene tarjoamaan todellista lukua siitä, mitä heikko laatu maksaa.

FPY kuvaa etenkin pitkällä aikavälillä hyvin prosessin kehittymistä melko kokonaisvaltaisesti, vaikkakin hieman suppeasti. FPY:n muutoksia kannattaa seurata etenkin muutoksia tehdessä prosessiin, vaikkakin jatkuva kehittäminen on prosessin kannalta suotavaa.

FPY lasketaan jakamalla prosessin valmiit tuotteet, jotka eivät vaatineet ylimääräistä uudelleen tehtävää työtä. Esimerkiksi jos tehtaalla valmistetaan 100 moottoria ja näistä 10 kappaletta vaatii uudelleentyöstöä, niin FPY on $90/100 = 0,9$ eli 90 %. (12.)

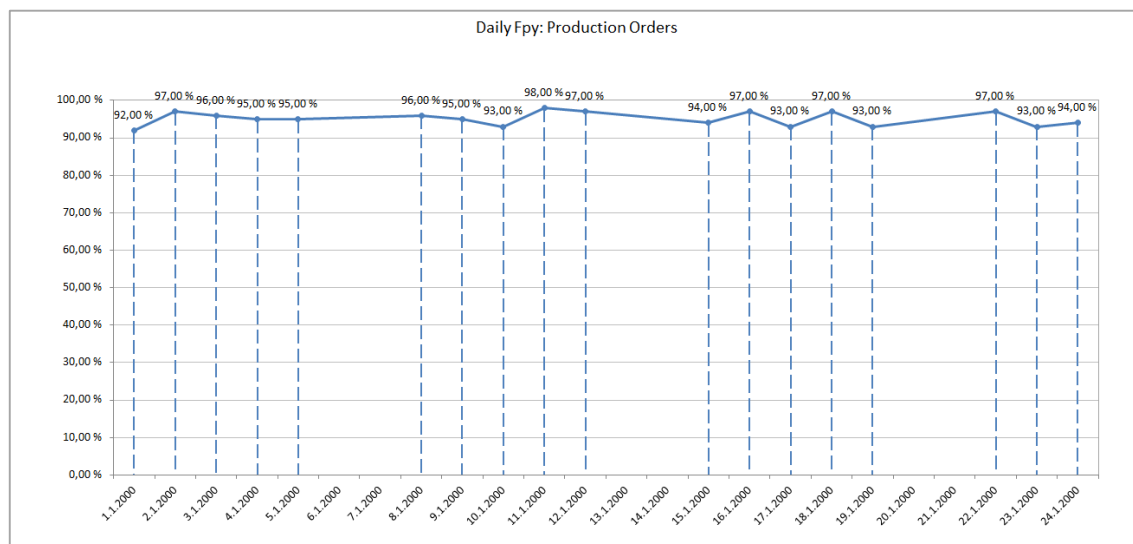
Mittarisovelluksessa FPY esitetään käyttäjälle päivittäisellä tasolla (kuva 3.) sekä moottorikohtaisesti (kuva 2.). Arvot sekä tuotenimikkeet kuvissa 2 ja 3 ovat muokattuja tietoturvan takia.

Listed motors:		4			
Total FPY: 			95,05 %		
				Conforming units	Total units
				768	808
				40	
Motor FPY			1 pass	1+ pass	
Example motor 1		89,19 %	99	12	
Example motor 2		91,84 %	45	4	
Example motor 3		95,00 %	19	1	
Example motor 4		96,34 %	605	23	

Kuva 2. Moottorikohtainen FPY

Kuvissa 2 sekä 3 arvot päivittyvät automaattisesti, kun käyttäjä hakee tietokannasta tuoreen mittatiedon. Arvot vaihtuvat dynaamisesti myös, kun käyttäjä valitsee toisen aikavälin tai esimerkiksi rajaa esitettävän tiedon vain yhdelle linjalle. Näin ollen mittarisovelluksen avulla voi nähdä kätevästi esimerkiksi tietyn halutun hissien moottorien valmistuslinjan testaamisen suoriutumista kokonaisuudessaan halutulla viikolla sekä kyseisellä linjalla testattujen moottorien ominaisen FPY-arvon. Kuvassa 2 olevat värilli-

set pallot kuvaavat visuaalisesti FPY:n toteutumista siten, että arvo saa punaisen pallon FPY:n ollessa alle 90 %, keltaisen pallon FPY:n ollessa 90 – 95 % sekä virheän pallon FPY:n ollessa yli 95 %. Kuvassa 3 esitetään käyttäjän rajaaman aikavälin päivittäistä FPY-arvoa. Käyttäjä voi vaikuttaa kuvaajan sisältöön rajaamalla esitettävää tietoa aikavälin mukaan, moottorityypin mukaan tai valmistuslinjan mukaan.



Kuva 3. Päivittäinen FPY

Häiriöt

Prosessin häiriö on syytä tunnistaa hyvin, jotta parannustoimenpiden osataan tehokkaasti suunnata sinne, missä sitä tarvitaan. Häiriö voi olla ”kohinamainen” vaihtelu prosessin lopputuloksessa. Tämä *tasaisesti jatkuva kohina* on todennäköisesti seurausta prosessin häiriöistä, jotka ovat yleisiä ja tyypillisiä prosessille. Valmistuksen lopputuotteessa voi olla esimerkiksi fyysisiä heikkouksia tietyin toleranssiarvoin johtuen epäsojovasta materiaalista. Kohinan määrän ja luonteen voi havainnollistaa esimerkiksi histogrammi-valvontakortin avulla. Kohina ei välttämättä aiheuta kriittistä haittaa tai edes toimenpiteitä vaativia seurauksia, mikäli kohina pysyy sovittujen toleranssiarvojen sisällä. Käytännössä lähes aina prosessissa on jollain tasolla kohinaa.

Erityiset häiriöt ovat sellaisia häiriöitä, joita ei normaalisti ole mukana prosessin lopputuloksessa, kuten aiemmin mainittu tasainen kohina. Nämä erityiset prosessin häiriöt näkyy piikkeinä arvoissa, eli mitattava suure on poikkeuksellisen suuri tai pieni suhteessa muihin mitattuihin arvoihin. Tämän voi erottaa esimerkiksi I-MR-valvontakortilla

(valvontakortit esitellään myöhemmin). Jos ja kun tähän ”piikkiin” halutaan puuttua, itse prosessia ei tule säätää tämän takia, vaan pyrkiä löytämään häiriön oma syy. Proses-
sin säätäminen erityisen häiriön takia on itse asiassa haitallista prosessille. Tätä kutsu-
taan yliohejuukseksi. Usein vastauksen erityiseen häiriöön saa tehtaan työntekijöiltä,
jotka ovat todennäköisesti havainneet valmistuksessa tämän erikoisuuden. Kun häiriö
on löydetty ja ymmärretty, kannattaa tutkia, onko keinoa välttää häiriötä tapahtumasta
jatkossa. (13.)

Vakaa ja hallinnassa oleva prosessi

Prosessi on vakaa, jos sen keskiarvo sekä hajonta pysyvät suunnilleen muuttumatto-
mina. Vaihtelu saattaa johtua vain yleisistä syistä eikä erityisistä. Prosessi voi olla va-
kaa, vaikka sen ominainen Cpk-arvo olisikin huono. Tällöin vaihtelun supistaminen li-
sää suorituskkyä merkittävästi. (13.)

Prosessin hallinnassaolo on perusteltavissa tilastollisesti aivan kuin sekin, jos se ei ole
hallinnassa. Kun prosessi on hallinnassa:

- yksikään havainto ei sijaitse yli valvontarajan tai muitakaan erityisyyyn ilmaiseviksi
tulkittavia tilanteita ei ole
 - noin kaksi kolmasosaa tuloksista on valvontarajojen välin keskimmaisella kolman-
neksella
 - keskiarvon ylä- ja alapuolella sijaitsee suunnilleen sama määrä tarkastelujakson tu-
loksista
- (13.)

5 Valvontakortit

5.1 Kortin käyttö

Valvontakorttia (ohjauskortti) käytetään tilastollisen prosessinohjauksen (SPC) keinona virheitä aiheuttavien, prosessin normaalitoimintaan kuulumattomien syiden löytämiseen ja korjaavien toimenpiteiden kohdistamiseen. Valvontakorttiin kerätään mittaustietoa prosessista.

Valvontakortteja on useita erityyppisiä. Yhteistä niille kuitenkin on se, että prosessille asetetaan tavoitearvo ja määritellään kerätyn aineiston perusteella valvontarajat, joiden välissä prosessin tuotoksen tulisi pysyä. Tällöin prosessin voidaan sanoa olevan hallinnassa. Valvontarajojen ja mittaustulosten perusteella siis tutkitaan prosessissa esiintyvää vaihtelua. Kun mittaustuloksissa esiintyy valvontarajojen ylityksiä, tulee selvittää, mistä poikkeama johtuu ja suorittaa korjaavia toimenpiteitä syyn poistamiseksi. Valvontarajojen määrittely vaihtelee korttityypeittäin. (14.)

Valvontakortti kannattaa käyttää seuraavanlaisissa tapauksissa:

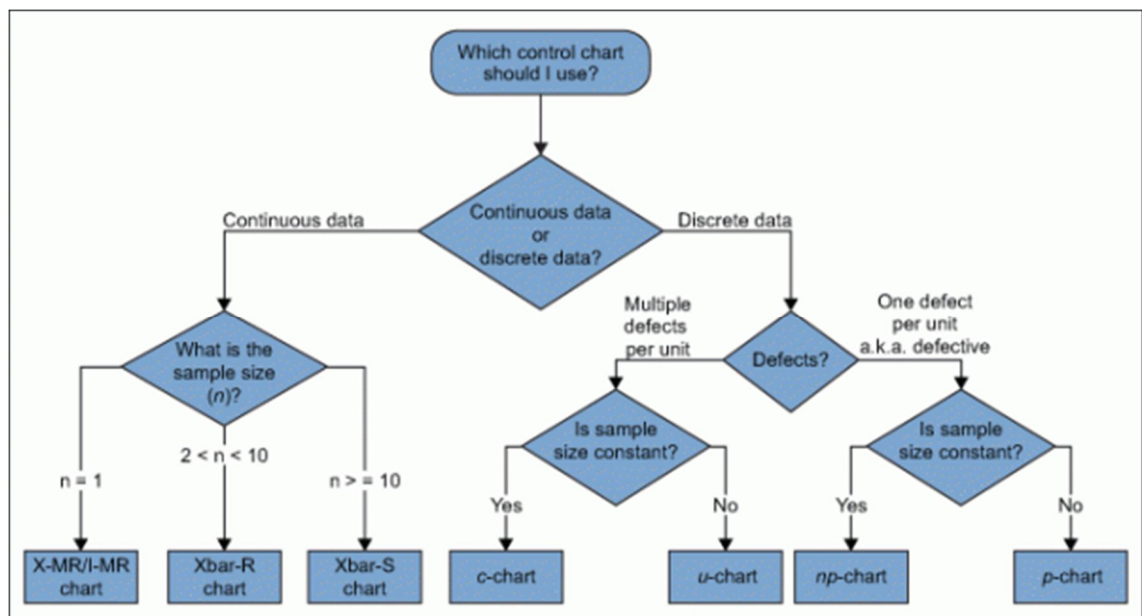
- ohjattaessa käynnissä olevia prosesseja löytämällä ja korjaamalla virheitä reaaliaikaisesti
 - prosessin odotettavissa olevan lopputuloksen ennustukseen
 - kun halutaan tietää, onko prosessi stabiili (tilastollisen valvonnan kannalta)
 - kun halutaan analysoida prosessin käyttäytymisen malleja vaihtelun kannalta (ei-rutiininomaiset tapaukset sekä prosessin luonteenomaiset tapaukset)
 - määriteltäessä, kannataako laadunkehittämisshanke keskittää ehkäisemään tiettyjä ongelmia vai tehdään perustavanlaatuisia muutoksia prosessiin
- (15.)

5.2 Kortin valinta

On tärkeää valita juuri sopiva valvontakortti. Vääräntyyppinen valvontakortti suhteessa prosessiin voi johtaa siihen, että tieto tulee analysoitua väärin. Väärin valitun valvontakortin analysointi voi johtaa esimerkiksi siihen, että vaihtelun syy tulkitaan väärin erityisestä yleiseen (prosessin häiriötyypit selitetty aiemmin). Valvontakortit voidaan myös yhdistää siten, että niiden analyysit tukevat toisiaan. Esimerkiksi insinööriyön järjestelmä yhdistää X-bar sekä R Chart valvontakortit, jotta tutkittavan tiedon ryhmistä saadaan keskiarvo sekä vaihteluväli käyttäjälle selville.

Kuten tiedettiin, on olemassa monia eri tyyppisiä valvontakortteja, jotta erityyppiset tietotyypit tulevat oikein analysoiduiksi. Osa kaavioista analysoi jatkuvaa dataa ja osa erillistä. Tämän lisäksi erikokoisille otosryhmien alaryhmille on omat valvontakorttinsa. (16.)

Kuvassa 4 esitetään graafisesti valvontakortin valinta.



Kuva 4. Valvontakortin valinta (17.)

5.3 Valittujen korttien esittely

I-MR -valvontakortti

I-MR -valvontakortti (Individuals and Moving Range) on hyvä valinta kuvaamaan prosessin suoriutumista. I-MR-korttia käytetään jatkuvan tiedon analysointiin. Kortin on kehittänyt Walter Shewart ja tästä syystä I-MR:ää kutsutaan toisinaan Shewart-kortiksi. Valvontakortti piirtää jokaisin havainnon eli datapisteen itsenäiseksi, eli tässä ei ole käytössä alaryhmiä, vaan ryhmä koko on siis yksi. Valvontakorttiin voi lisätä analysoinnin tueksi kontrollirajat (UCL= Upper Control Limit, LCL= Lower Control Limit) sekä toleranssirajat. Etenkin toleranssirajojen seuraaminen on tärkeää. Havaintopiste, joka on mittarin kuvan punaisten viivojen ulkopuolella ei täytä aiemmin sovittuja raja-arvoja ja on näin ollen sopimaton myyntiin toistaiseksi. (18; 19.)

Kontrollirajat voidaan laskea seuraavalla laskukaavalla:

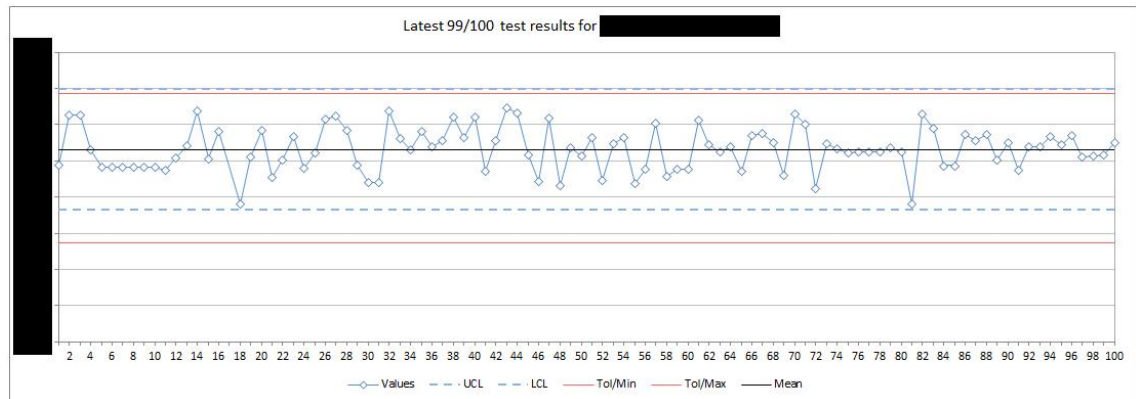
$$\begin{aligned} UCL &= \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{1.128} \\ \text{Center Line} &= \bar{x} \\ LCL &= \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{1.128} \end{aligned}$$

X on havaintojen keskiarvo

MR on havaintojen etäisyyden keskiarvo

1.128 on sovittu arvo tilastomatematiikassa (d2 n=2) I-MR -kortille

Kuvassa 5 on mittarisovelluksen I-MR –valvontakortti. Valvontakortti näyttää uusimmat sata mitattua arvoa käyttäjän valitsemin kriteerein. Punaiset viivat ovat toleranssirajoja. Siniset katkoviivat ovat kontrollirajoja.

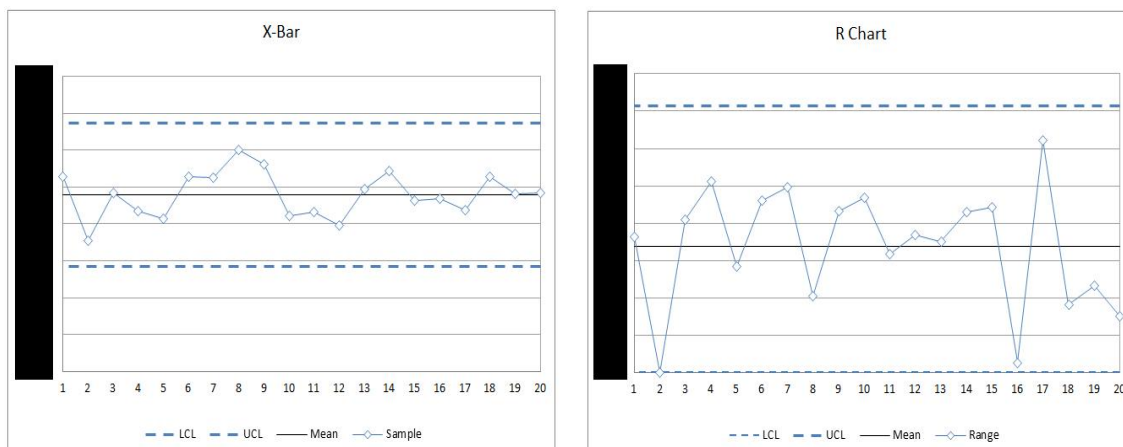


Kuva 5. Järjestelmän I-MR–valvontakortti

X-Bar ja R Chart

X-Bar- ja R Chart–valvontakortit muodostavat valvontakorttiparin, joita käytetään, kun alaryhmän (subgroup) koko on suurempi kuin kaksi, mutta yleisesti pienempi kuin kymmenen. Mikäli alaryhmien koko on suurempi kuin kymmenen, yleensä käytetään Xbar-S chart-valvontakorttiparia. X-Bar ja R Chart auttavat määrittelemään lukijalleen onko prosessi ennustettavissa oleva ja vakaa. X-bar-valvontakortti näyttää kuinka alaryhmien keskiarvo muuttuu ajan myötä, kun taas R Chart-valvontakortti näyttää kuinka alaryhmien vaihteluväli muuttuu ajan myötä.

Kuvassa 6 on mittarisovelluksen X-Bar- ja R Chart-valvontakortit.



Kuva 6. Järjestelmän X-Bar- sekä R Chart-valvontakorttipari.

X-Bar ja R Chart valvontakorttiparia suositellaan käytettäväksi, kun:

- järjestelmän (prosessin) vakautta tulee arvioida
- tieto on muuttujien muodossa
- kerätyn tiedon alaryhmien koko on suurempi kuin kaksi, mutta pienempi kuin kymmenen
- tieto on aikajärjestyksessä.

Valvontakorttipari tarjoaa parhaan hyödyn, kun alaryhmiä on tarpeeksi. Vähäisellä alaryhmämäärällä korttipari ei kykene kuvaamaan prosessin vaihtelua tarkasti. Alaryhmien määräksi suositellaan 20–25 kappaletta. Mikäli esimerkiksi 20 alaryhmää halutaan esittää ja jokaisessa alaryhmässä on viisi havaintoarvoa, kaavio voidaan piirtää vasta kun 100 arvoa on kerätty. Kun korttiparin avulla on hahmotettu prosessin vakaus, niiden avulla voidaan myös tutkia esimerkiksi tehtaalla eri vuorojen, eri työntekijöiden tai erilaisten materiaalien vaikutusta lopputulokseen. Tämä luonnollisesti vaatii sen, että tiedonkeruussa kerätään laajemmin tietoa, kuin vain pelkkä havainto. Havaintokohtaiseen riviin tulee kirjata tällöin esimerkiksi työntekijä, vuoro, materiaali ja niin edelleen. Laadukas ja rikas tiedonkeruu mahdollistaa laajan ja perusteellisemman analyysin. Korttiparia voi hyvin käyttää muun muassa prosessin kehittymisen seurannassa ajan myötä. (20; 21; 22.)

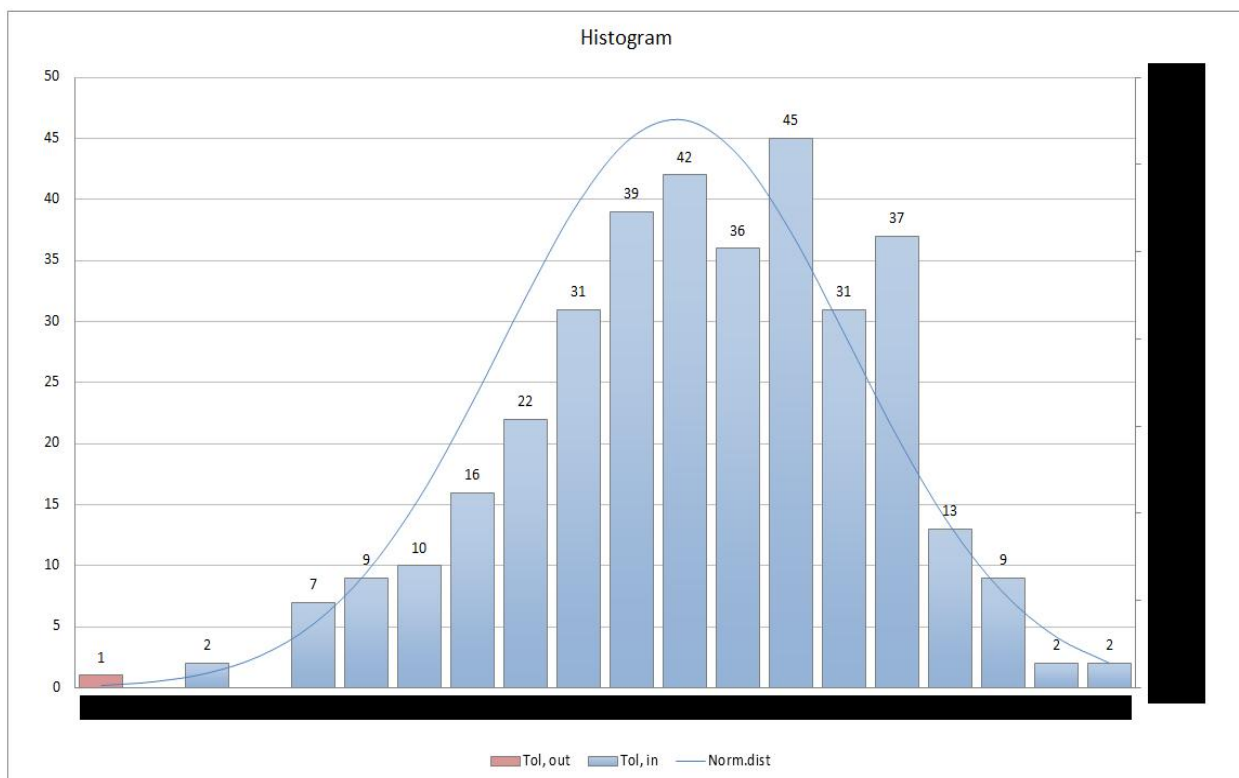
Histogrammi

Histogrammi on pylväsdiagrammi, joka kuvaa analysoitavan tietojoukon jakautumista. Toisin kuin esimerkiksi aiemmin esitelty I-MR-valvontakortti, histogrammi ei kuvaa prosessin kyvykkyyttä tai sen suoriutumista pitkällä aikavälillä. Histogrammi on sen hetkinen tilannekuva prosessista kerätyistä arvoista. Histogrammia voisi verrata valokuvaan, kun taas I-MR-valvontakortti olisi enemmänkin kuin videokuva.

Histogrammia kannattaa käyttää, kun haluaa esittää suuren määrän mittatietoja käyttäjälle helppossa muodossa. Histogrammi organisoii ja esittää kerätyt mittatiedot käyttäjälle mitta-asteikolla, josta selviää, missä suurin osa mittatiedoista on, sekä kuinka arvot ovat hajaantuneet.

Histogrammia kannattaa käyttää, kun haluaa tehdä käyttäjäystävällisen yhteenvedon suurista tietojoukoista. Ihminen hahmoittaa histogrammia selkeämmin ja nopeammin kuin pelkkää listaa arvoista. Histogrammi on käytännöllinen myös mittatietojen analysoinnissa, kun halutaan ymmärtää, kuinka suureet sijoittuvat toleranssien sisälle. Järjestelmän histogrammissa (kuva 7.) näkyy vasemmassa alakulmassa punainen palkki, joka kuvaa arvoja, jotka ovat sovittujen rajojen ulkopuolella. Histogrammi on käytännöllinen myös silloin, kun arvot halutaan esittää ulkopuoliselle henkilölle tai henkilölle, joka ei ymmärrä kokonaiskuvaa arvoista. Kuvaa apuna käyttäen viesti välittyy helpommin perille. Histogrammin erityyppisiä muotoja voivat olla symmetrinen, epäsymmetrinen, yksihuippuinen, monihuippuinen, vino oikealle tai vino vasemmalle.

(23; 24.)

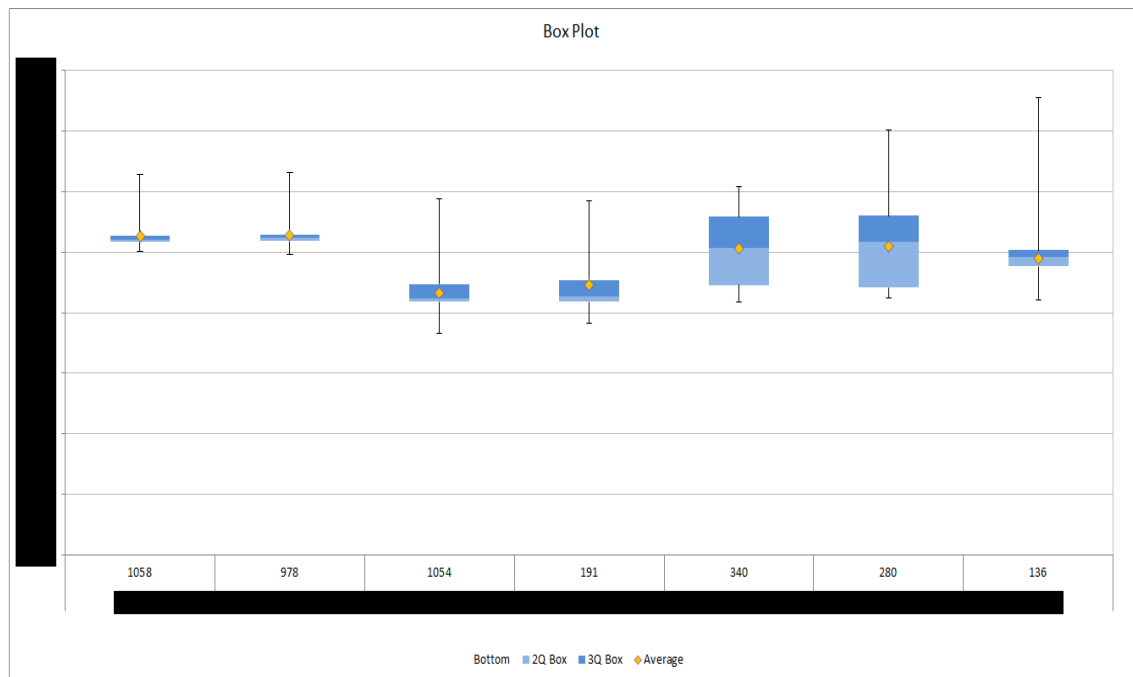


Kuva 7. Järjestelmän histogrammi-valvontakortti normaalikäyrällä.

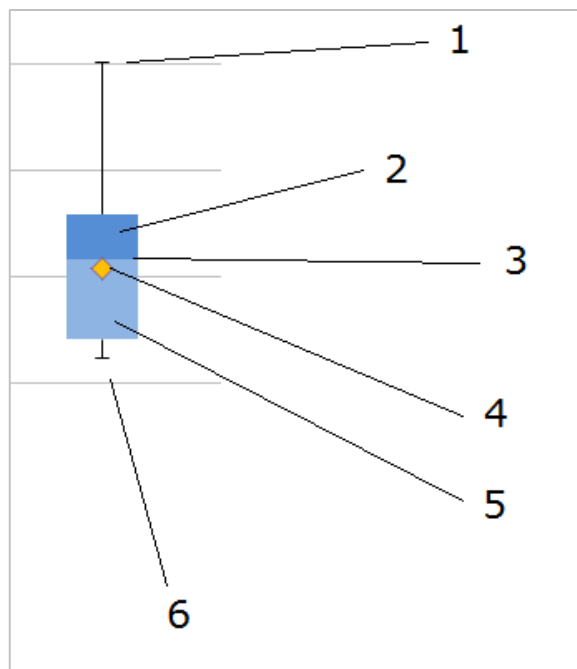
Box Plot-valvontakortti

Box plot- eli laatikko-janavalvontakortti on käytännöllinen, kun halutaan yksityiskohtaisesti kuvata kerätyn mittatiedon hajontaa. Valvontakortista hyödyllisen työkalun tekee se, että sen avulla voi selkeästi vertailla numeerista tietoa eri ryhmien tai kategorioiden välillä. Tehtaalla voisi verrata kahden erillisen testeraseman mittatuloksia ja tutkia, ovatko arvot samantyyppisiä. Erilaiset kuviot voivat kertoa eroavaisuuksia eri vuoroissa, eri työntekijöissä tai epämääräisesti määritellyssä prosessissa. Ideaalisessa tilanteessa laatikko-janavalvontakortin laatikot olisivat samantyyppisiä, vaikka testerasemia olisikin useampia. Tämä kuvastaisi hyvää kyvykkyyttä tehdä ennalta suunniteltua lopputulosta, vaikka mahdollisia muuttujia olisikin paljon.

Järjestelmän laatikko-janavalvontakortti (kuva 8) kuvaa käyttäjälle rajatun arvojoukon suurimman sekä pienimmän arvon, mediaanin, keskiarvon ja ylimmän sekä alimman neljänneksen (kvartiilit).



Kuva 8. Järjestelmän Box Plot-valvontakortti.



Kuva 9. Järjestelmän Box Plot-valvontakortin osiot selitettynä.

1. Lukujoukon suurin arvo
2. Yläkvartiili (Q3)
3. Mediaani (Q2)
4. Keskiarvo
5. Alakvartiili (Q1)
6. Lukujoukon pienin arvo

Kvartiilit tarkoittavat sitä, että esimerkiksi kuvan 9 "Alakvartiili (Q1)" on arvo, jonka alla on tasan neljännes (25 prosenttia) lukujoukon arvoista. Musta viiva, jota englanniksi kutsutaan "viikseksi" (englanniksi "Whisker"), kuvaa aluetta, jossa ovat arvot kolmannelta kvartiilista lukujoukon suurimpaan arvoon asti. Näin ollen "viiksiä" katsomalla voidaan havaita, että kuvan 9 tapauksessa arvot ovat selkeästi hajaantuneempia ylemmässä "viiksessä" kuin alemmassa. (25; 26; 27.)

6 SPC:n soveltaminen koneistotehtaalla

SPC (Statistical Process Control) eli tilastollinen prosessinohjaus on tilastollinen tapa tutkia ja seurata esimerkiksi tehtaan valmistuksen prosesseja. SPC käyttöön otettiin hissien moottorien testaamisprosessin seuraamiseksi. Järjestelmän avulla on kyetty seuraamaan testaamisprosessin tilaa jo alkusyksystä 2014. Kehitellyt sovellus tarjoaa pitkän aikavälin vastuullisen testaamisen seuraamismallin, jossa ollaan kiinnostuneita lopputuloksesta. SPC:n avulla laatu, asiakkaan vaatimukset sekä sovitut spesifikaatioarvot tulevat valvotuiksi.

Tilastollisen prosessinohjauksen soveltaminen tapahtuu moottorien testerasemien mittaustiedoista. Sensorien mittaamat arvot lähetetään automaattisesti Labview-sovelluksen avulla tietokantaan, josta ne saadaan SPC-sovelluksen analysoitaviksi. Sovelluksen avulla voidaan analysoida viittä Kone Oyj:n Hyvinkään tehtaan moottorien valmistuslinjaa kuudesta. Kerätty tieto koskee kuitenkin vain ja ainoastaan moottorien testaamista, ei niiden valmistamista. Kaikki moottorit testataan joka tapauksessa, joten tilastollisen prosessinohjauksen lisäksi sovellusta käytetään myös tehtaan valmistuslinjojen saantoasteiden seuraamiseksi. Sovelluksesta näkee selkeästi, mitä mikin moottorien valmistuslinja on valmistanut ja kuinka se on sujunut.

Mittaustietoa kerätään automaattisesti. Jokainen moottori testataan ja tiedot lähetetään tietokantaan. Sovellus analysoi automaattisesti sovitunkokoisen otannan uusimmista testauksista, eli analysoitava tieto on dynaamisesti rajattu. Sovellus laskee tiedot haettuaan tarvittavat matemaattiset laskukaavat sekä piirtää kuvaajat. Käyttäjälle jää vastuulle vain kaavioiden tulkitseminen. Sovellusta varten on myös laadittu runsaasti ohjeistusta käyttäjille. (28; 29.)

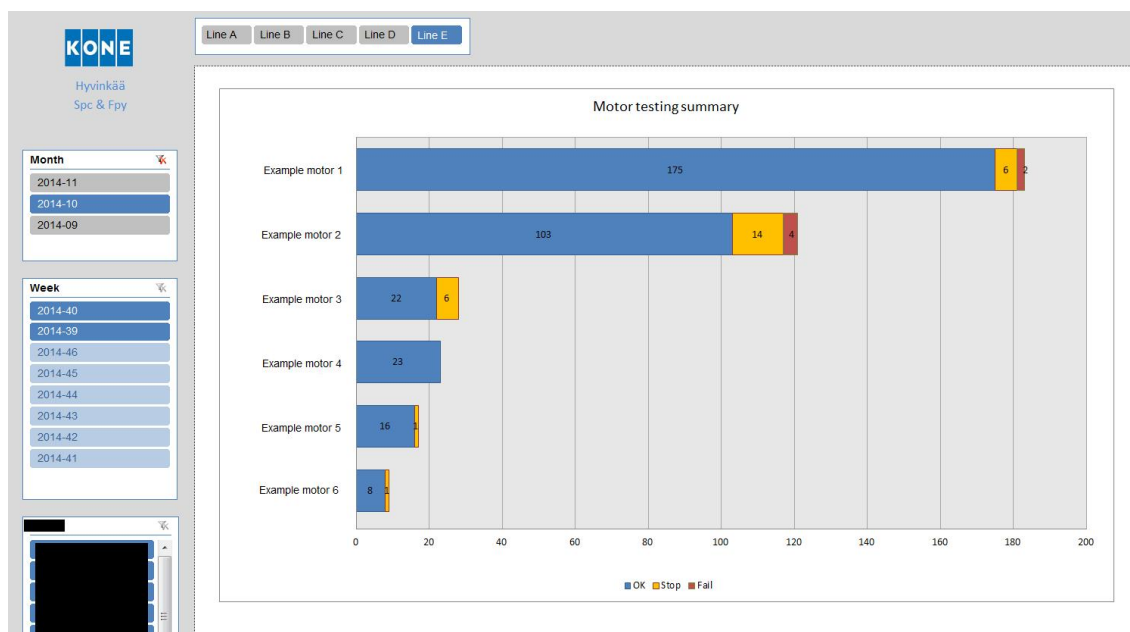
Tilastollista prosessinohjausta sovelletaan seuraavasti:

1. *Sensori* kerää mittatiedot moottorille suoritetuista testeistä
2. *Testeritietokone* kerää, käsittelee sekä lähettää tiedot serverille Labview-sovelluksen avulla
3. *Tietokanta* säilyttää mittatiedon
4. *SPC-analysointisovellus* lataa, laskee sekä piirtää kuvaajat

7 Pohdinta ja johtopäätökset

SPC-sovelluksen kehittäminen alkoi KONE Oyj:n Hyvinkään hissikonetehtaan kesätyöni jälkeen vuonna 2014. Mahdollisuus kehittää ja käyttöönottaa tilastolliseen prosessinohjaukseen (SPC) perustuva mittarisovellus toi minulle mahdollisuuden jatkaa työskentelyä yksikössä kesätyön jälkeen insinööriyönantona. Tavoitteenani oli suorittaa moottorien testaamisen mittatiedon analysointisovelluksen kehittäminen loppuun. Kehittäminen vei pidempään kuin olisin odottanut, sillä muutostoiveita oli etenkin sovelluksen testaamisvaiheessa. Hyvän kommunikaation sekä palaverien seurauksena uskon sovelluksen palvelevan yrityksen tarpeita.

SPC-sovelluksen käyttöönotto näyttää sujuneen hyvin. Yritys on ollut kiinnostunut sovelluksesta ja tämä on näkynyt jatkuvana tukena eri osa-alueissa. SPC:n soveltamisessa käytäntöön on vaikuttanut se, että sovellettava kohde on ollut alusta asti selvillä. Mittatieto on luonteeltaan analyysiin soveltuvaa. Sovelluksesta on saatu kehitettyä helppokäyttöinen ja tehokas työkalu. Sovelluksen käyttöliittymää on sanottu selkeäksi. Esimerkkikuva käyttöliittymästä löytyy liitteestä 2 sekä kuvasta 10. Kuvan 10 arvot sekä kaikki nimikkeet ovat muokattuja.



Kuva 10. Moottorien testaamisen tila

Yhteistyö, sitoutuminen sekä motivaatio ovat olleet merkittävässä osassa sovelluksen valmistumiseksi. SPC:n avulla prosessien muutokset ovat havaittavissa nopeasti ja korjaukset voidaan tehdä ripeästi. SPC-sovellus tulkee myös jatkuvan parantamisen periaatteita. Sovellus tuo läpinäkyvämmäksi myös prosessin sujumista, mikä lisää työntekijöiden tietoisuutta tuotantoprosessista. Mittarisovelluksen kaaviot sekä taulukot selkeyttävät analysoijalle myös hissien moottorien testauksen yleisimpiä virheitä (liite 5.) sekä tarjoaa moottorikohtaisesti tietoisuutta virhekoodeista (liite 6.), joita järjestelmä automaattisesti kirjaa testauksen edetessä, mikäli poikkeama havaitaan.

Sovelluksen etuna on myös se, että se on yrityksen omassa hallinnassa. Mahdolliset muutostoiveet, ongelmatilanteet, ohjelmistovirheet sekä väärinymmärrykset tulevat huomioiduiksi nopeammin. Omana sovelluksena SPC-sovellus tuo todennäköisesti myös rahallista säästöä ajan myötä, sillä kolmannen osapuolen asiantuntijoita ei tarvita päivityksiä varten. Sovellusta voi myös muokata kuka vain, sillä siinä ei ole suljettua lähdekoodia ja Microsoft Excel –ohjelmisto on asennettuna suurimmassa osassa toimiston tietokoneista. Mittarisovelluksen systemaattinen ja jatkuva seurata moottorien tarkastuksen mittatiedossa tulee uskoakseni lisäämään tietoisuutta toiminnasta tehtäviä moottorien tarkastuksen osalta. Uskon tilastollisen prosessinohjauksen lisäävän laatua sekä tuotettavuutta, kun hajonta pienenee. Hajonta pienenee muun muassa havaitsemalla muutoksia prosessissa sekä suorittamalla korjaustoimenpiteet, jotka olisivat olleet aiemmin haastavia kohdistaa sekä toteuttaa. Saimme tilastollisen prosessinohjauksen teorian käytäntöön hyvin esimieheni kokemuksen avulla. Uskon sovelluksen tuottavan tietoa käyttäjilleen tarkasti halutuista osa-alueista.

Sovellusta voi laajentaa tulevaisuudessa kattamaan koko tehtaan moottorien testauslijoille. Tämän lisäksi pelkkien moottorien analysoinnin sijaan sitä voi myös soveltaa sähkö- sekä koripuolelle. Sovelluksen voi tarvittaessa myös kopioida toisillekin yksiköille. Sen keskeneräistä versiota on jo kokeiltu Italiassa sekä Kiinassa. SPC-sovellus on toiminut siellä hyvin, vaikkei sitä virallisesti olekaan otettu käyttöön muualla kuin Hyvinkään yksikössä. Toistaiseksi sitä on siis lähinnä vain testattu. Sovelluksen asentaminen eri yksikköön tai erilaiseen mittatietoon vaatii toki hieman lisätyötä. SPC-analyysiin haluttava mittatieto on kerättävä Labview- sovelluksella, tietokantaan on luotava uusi pöytä sekä mahdollisia pieniä säätöjä SPC-sovelluksessa on tehtävä. Järjestelmä on kuitenkin jo olemassa, joten nämä pienet muutokset ovat marginaalisia suhteessa sovelluksen kehittämiseen. Sovelluksesta on myös kehitteillä tehtaan erään moottorien valmistuslinjan moottorien testauksen yhteenveto sekä I-MR-valvontakorttisovellus testeraseman läheisyyteen omalle tietokoneruudulle. Tämän avulla työntekijät näkevät nopeammin muutokset valitussa prosessissa.

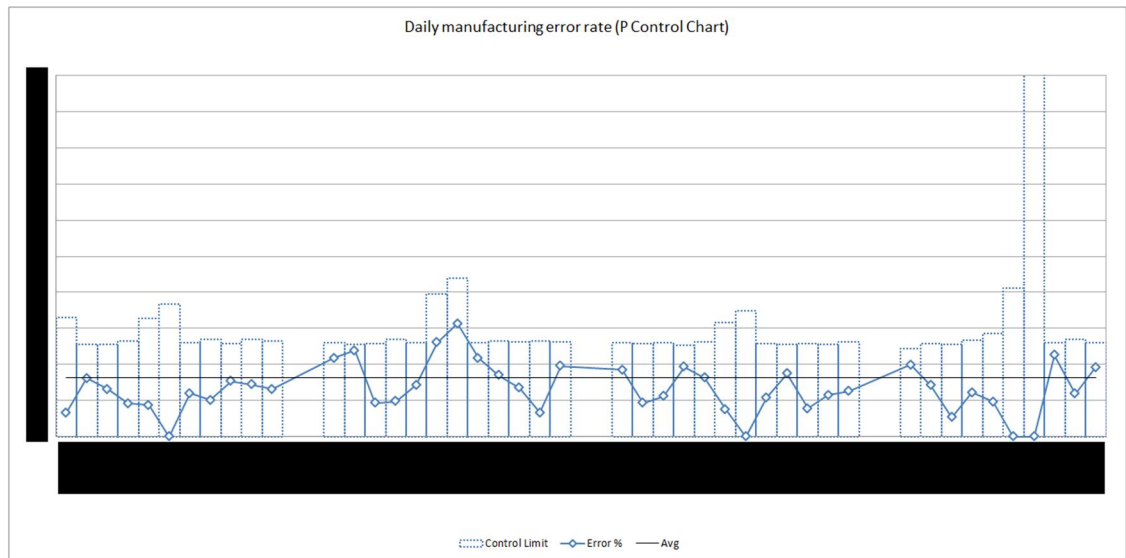
8 Lähteet

1. KONE lyhyesti. 2014. Verkkodokumentti. Kone Oyj.
<http://www.kone.com/fi/yhtio/kone-lyhyesti/default.aspx> . Luettu 15.10.2014
2. Tilastolliset menetelmät (SPC, MSA, jne). 2014. Laatutieto.fi.
http://www.laatutieto.fi/product_catalog.php?c=46. Luettu 15.10.2014
3. Process Capability (Cp, Cpk) and Process Performance (Pp, Ppk) – What is the Difference?. 2014. iSixSigma.
ma.Verkkodokumentti.<http://www.isixsigma.com/tools-templates/capability-indices-process-capability/process-capability-cp-cpk-and-process-performance-pp-ppk-what-difference/> . Luettu 15.10.2014
4. Laadun määrällistäminen suorituskyyä kuvaavilla tunnusluvuilla. 2014. Verkkodokumentti. Quality Knowhow Karjalainen Oy. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/laatu-puhuttaa-suomessa/> . Luettu 16.10.2014
5. Kuinka hallitsen tuotanto- ja palveluprosesseja. 2014. Verkkodokumentti. Quality Knowhow Karjalainen Oy. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/kuinka-hallitsen-tuotanto-ja-palveluprosesseja/> . Luettu 16.10.2014
6. Aritmeettinen keskiarvo. 2014. Verkkodokumentti. Wikipedia.
http://fi.wikipedia.org/wiki/Aritmeettinen_keskiarvo . Luettu 16.10.2014
7. Keskihajonta – määrittely. 2014. Verkkodokumentti. Opetushallitus.
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/tilastomatikka/haj_5.html. Luettu 16.10.2014
8. Otanta. 2014. Verkkodokumentti. VirtuaaliAMK-verkosto.
<http://www2.amk.fi/mater/tutkimusmenetelmat/kvantitat/kuvailu/otanta.htm>. Luettu 16.10.2014
9. Quality (business). 2014. Verkkodokumentti. Wikipedia.
http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_%28business%29. Luettu 16.10.2014
10. Prosessia – Prosessisanasto. 2014. Verkkodokumentti. MCA oy.
<http://prosessia.fi/prosessisanasto/>. Luettu 18.10.2014
11. Prosessi. 2014. Verkkodokumentti. Wikipedia.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Prosessi>. Luettu 16.10.2014
12. Manufacturing Metrics: First Pass Yield Benchmark Data. 2014. Verkkodokumentti. LNS Research.
<http://blog.insresearch.com/blog/bid/170419/Manufacturing-Metrics-First-Pass-Yield-Benchmark-Data> . Luettu 18.10.2014
13. Laatuakatemia - Prosessi, prosessiorganisaatio ja prosessin ohjaus. 2010. Verkkodokumentti. Laatuakatemia.
<http://www.kotiposti.net/tuurala/prosessit.htm>. Luettu 21.10.2014

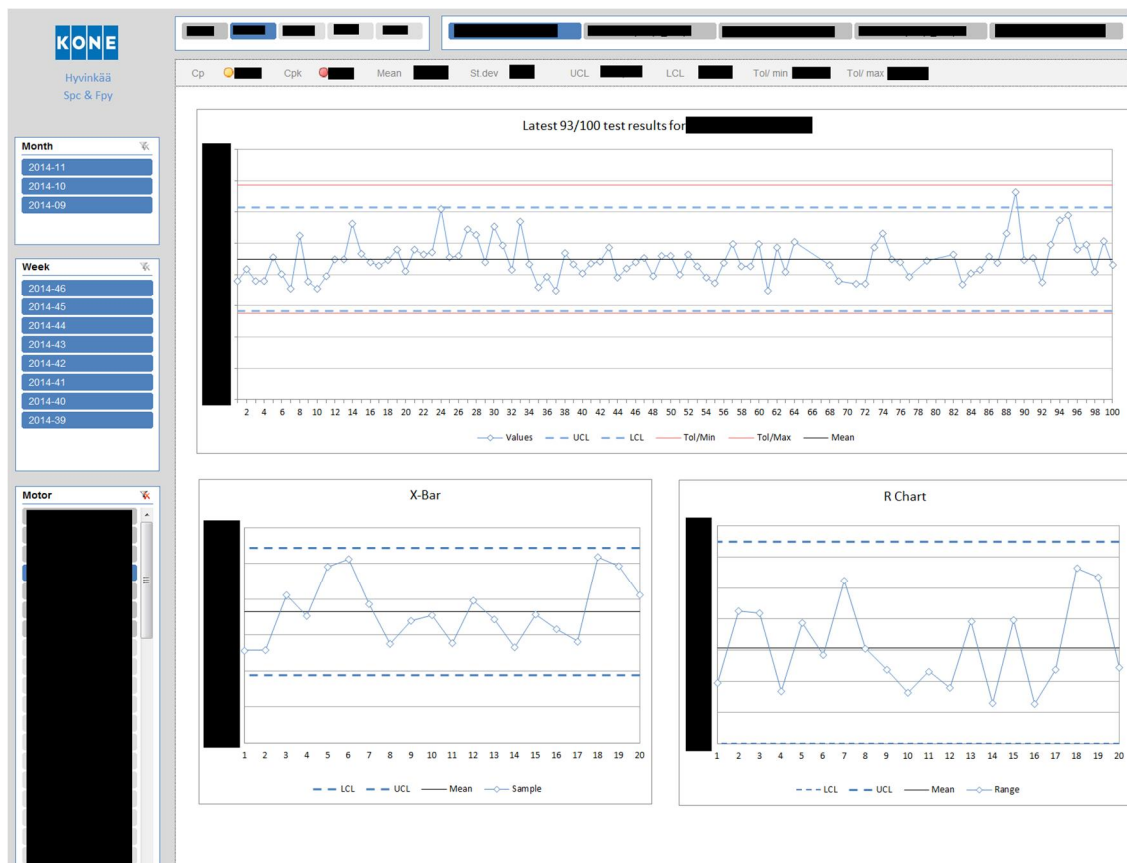
14. Valvontakortit. 2014. Verkkodokumentti. Kookas.
<http://www.kookas.fi/articles/read/7518> . Luettu 21.10.2014
15. ASQ – Control Charts. 2014. Verkkodokumentti. American Society for Quality.
<http://asq.org/learn-about-quality/data-collection-analysis-tools/overview/control-chart.html> . Luettu 24.10.2014
16. CQE Academy – Control Chart: What Are Control Charts?. 2014. Verkkodokumentti. CQE Academy. <http://www.cqeacademy.com/cqe-body-of-knowledge/continuous-improvement/quality-control-tools/control-charts/> . Luettu 24.10.2014
17. Valvontakortin valinta. 2014. Verkkodokumentti. CQE Academy.
<http://www.cqeacademy.com/wp-content/uploads/2013/11/Control-Chart-Flow-Chart21.gif> . Luettu 24.10.2014
18. Understanding Six Sigma Basics. 2014. Verkkodokumentti. Binu John.
<http://sixsigmacharts.blogspot.fi/2010/02/understand-i-mr-chart.html>. Luettu 24.10.2014
19. Individuals – Moving Range Charts (I-MR). 2014. Verkkodokumentti. What Is Six Sigma.net. <http://www.whatissixsigma.net/imr/>. Luettu 24.10.2014
20. PQ Systems - X-bar and range chart. 2014. Verkkodokumentti. Productivity-Quality Systems, Inc.
http://www.pqsystems.com/qualityadvisor/DataAnalysisTools/x_bar_range.php . Luettu 24.10.2014
21. X-bar and range chart formulas. 2014. Verkkodokumentti. Productivity-Quality Systems, Inc.
http://www.pqsystems.com/qualityadvisor/formulas/x_bar_range_f.php . Luettu 24.10.2014
22. Shewhart X-bar and R and S Control Charts. 2014. Verkkodokumentti. NIST/SEMATECH.
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc321.htm>. Luettu 24.10.2014
23. Basic Tools for Process Improvement: Histogram. 2014. Verkkodokumentti. The Air University. http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/navy/bpi_manual/mod11-histogram.pdf. Luettu 4.11.2014
24. Histograms: Distribution and Causal Analysis Tools. 2014. Verkkodokumentti. Energy Facility Contractors Group.
http://www.efcog.org/wg/esh_es/statistical_process_control/docs/histograms.pdf f. Luettu 4.11.2014
25. Guide to Six Sigma Data Analysis Tools. 2014. Verkkodokumentti. Bright Hub PM. <http://www.brighthubpm.com/six-sigma/46732-guide-to-six-sigma-data-analysis-tools/>. Luettu 4.11.2014

26. Dundas, Dashboard Support - Box Plot Chart - Dashboard Control. 2014. Verkkodokumentti. Dundas Data Visualization, Inc.
http://support.dundas.com/Dashboard5.Chart_BoxPlot.ashx. Luettu 4.11.2014
27. Box Plot. 2014. Verkkodokumentti. NHSScotland Quality Improvement Hub.
<http://www.qihub.scot.nhs.uk/knowledge-centre/quality-improvement-tools/box-plot.aspx>. Luettu 4.11.2014
28. Mittarisovelluksen vaiheittainen käyttöohje. 2014. Verkkodokumentti. KONE oyj Intra. Luettu 20.11.2014
29. Tietokannan käyttöohje. 2014. Verkkodokumentti. KONE oyj Intra. Luettu 20.11.2014

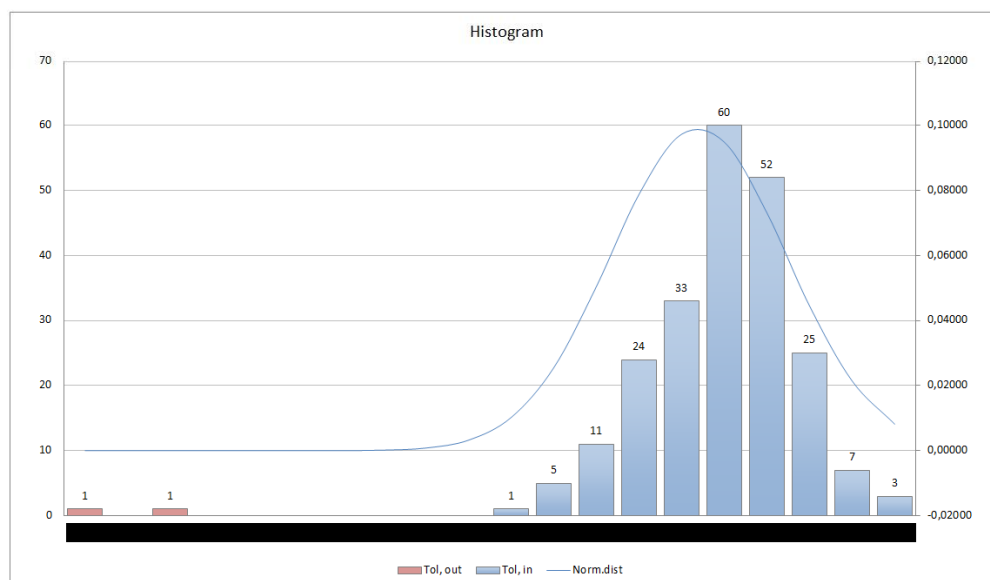
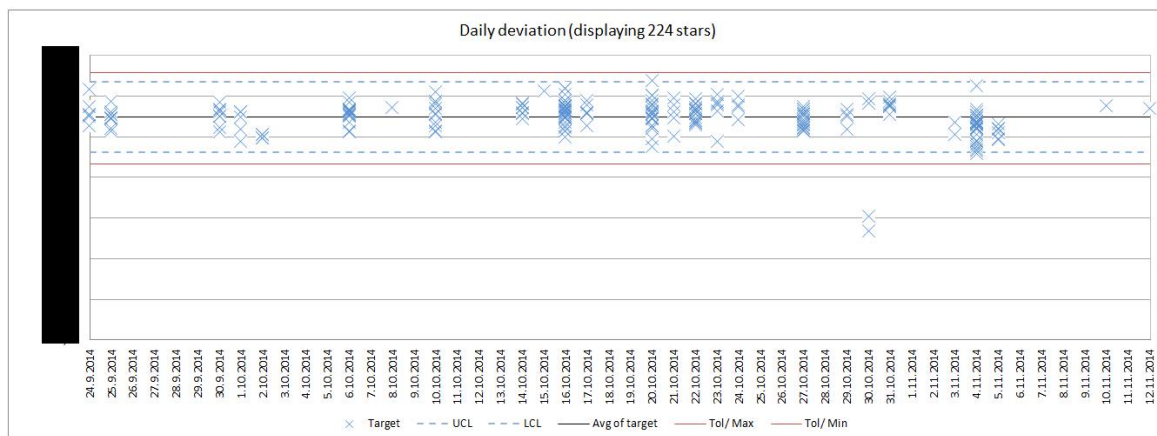
Liite 1: P Control Chart



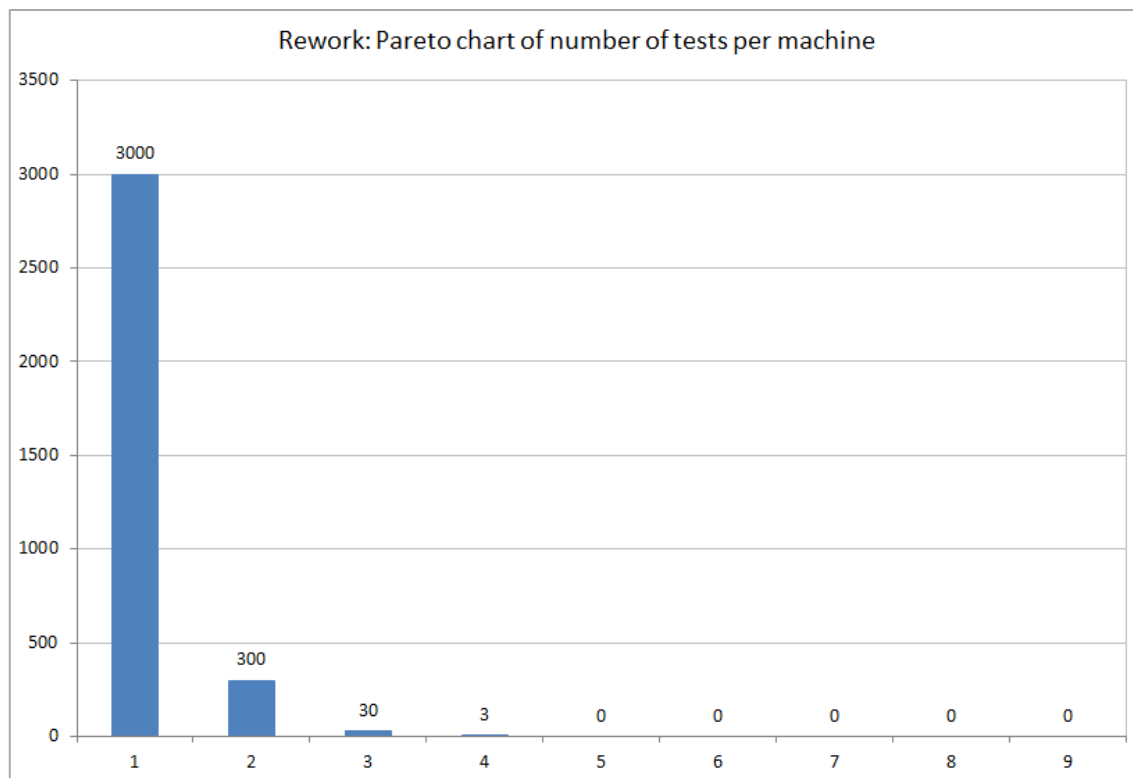
Liite 2: Mittarisovelluksen käyttöliittymä



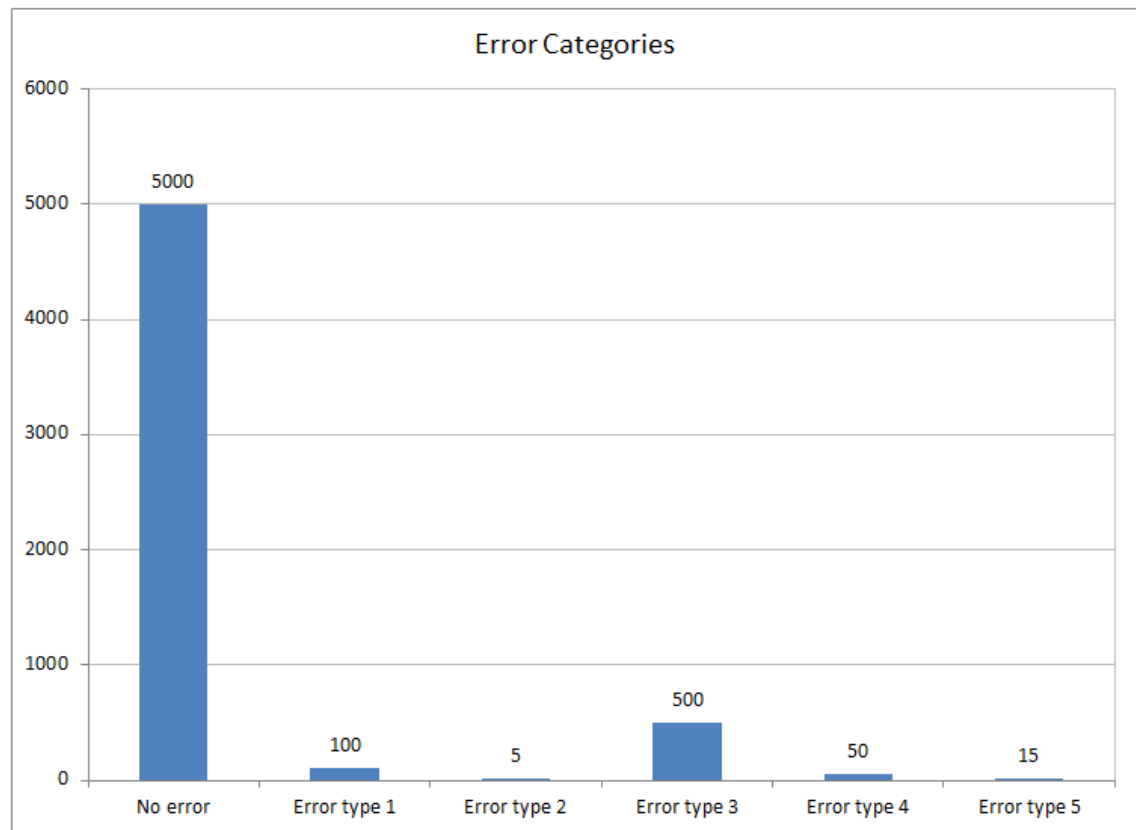
Liite 3: Muutama valvontakortti



Liite 4: Pareto Chart



Liite 5: Error Categories



Liite 6: Product-specific errors

Product-specific errors

Motor 1	183
No Errors	175
	175
Error 1	2
1111/1112	2
Error 2	3
2222/2223	1
2224	2
Error 3	2
3333	1
3334	1
Error 4	1
4444	1
Motor 2	17
No Errors	16

■ ■ ■

■ ■ ■